

8

CARP: 7,265,651 B2



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 24 824 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**H 01 F 1/26**  
H 01 F 1/153

21 Aktenzeichen: 100 24 824.1  
22 Anmeldetag: 19. 5. 2000  
43 Offenlegungstag: 29. 11. 2001

DE 100 24 824 A 1

71 Anmelder:  
Vacuumschmelze GmbH, 63450 Hanau, DE  
74 Vertreter:  
Patentanwälte Westphal, Musgnug & Partner,  
78048 Villingen-Schwenningen

72 Erfinder:  
Brunner, Markus, 63856 Bessenbach, DE

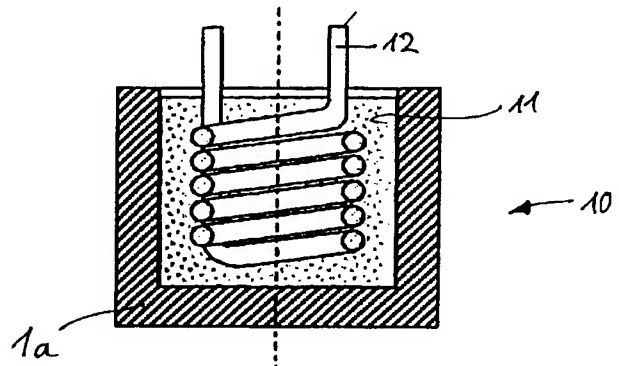
56 Entgegenhaltungen:  
DE 30 19 176 C2  
DE 199 08 374 A1  
DE 198 60 691 A1  
DE 198 49 781 A1  
DE 196 08 891 A1  
JP 60-2 60 108 A  
JP 01-53 404 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Induktives Bauelement und Verfahren zu seiner Herstellung

57 Es wird ein induktives Bauelement (10) vorgestellt, dessen weichmagnetischer Kern (11) durch Einfüllen eines Gießharzes in eine mit einem weichmagnetischen Legierungspulver gefüllte Form (1a) und anschließende Aushärtung des Gießharzes mit dem Legierungspulver zu einem massiven weichmagnetischen Kern hergestellt wird. Durch diese Vorgehensweise wird im Gegensatz zu den herkömmlichen Spritzgussverfahren die Oberflächenisolierung der Legierungspartikel nicht verletzt, so dass die Bildung von Volumenwirbelströmen in den resultierenden weichmagnetischen Kernen weitgehend vermieden werden können. Dadurch lässt sich eine deutliche Absenkung der elektrischen Verluste des induktiven Bauelements erreichen.



DE 100 24 824 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein induktives Bauelement mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Material. Insbesondere betrifft die Erfindung induktive Bauelemente mit einem aus einem Pulververbundwerkstoff bestehenden weichmagnetischen Kern.

[0002] Weichmagnetische Pulververbundwerkstoffe als gepresste Magnetkerne sind seit langer Zeit bekannt.

[0003] Zum einen sind gepresste Pulververbundwerkstoffe aus Eisenpulver bekannt. Mit diesen Magnetkernen lässt sich der Permeabilitätsbereich von ca. 10 bis 300 gut abdecken. Die mit diesen Magnetkernen erreichbaren Sättigungsinduktionen liegen bei ca. 1.6 Tesla. Die Anwendungsfrequenzen sind wegen des vergleichsweise niedrigen spezifischen Widerstands und der Größe der Eisenpartikel typischerweise unter 50 kHz.

[0004] Des weiteren sind gepresste Pulververbundwerkstoffe aus weichmagnetischen kristallinen Eisen-Aluminium-Silizium-Legierungen bekannt. Mit diesen können Anwendungsfrequenzen aufgrund des vergleichsweise höheren spezifischen Widerstands bis über 100 kHz erreicht werden.

[0005] Besonders gute Sättigungsinduktionen und Permeabilitäten können mit Pulververbundwerkstoffen erreicht werden, die auf kristallinen Nickel-Eisen-Legierungen basieren. Über die exakte Einstellung des Nickelgehaltes können Permeabilitäten bis in den Bereich von ca. 500 erreicht werden. Mit diesen sind ebenfalls aufgrund der vergleichsweise geringen Ummagnetisierungsverluste Anwendungsfrequenzen bis über 100 kHz möglich.

[0006] Diese drei bekannten Pulververbundwerkstoffe können jedoch nur zu geometrisch sehr einfachen Formen verarbeitet werden, da die zur Verfügung stehenden Press-technologien nur einen begrenzten Spielraum lassen. Insbesondere lassen sich lediglich Ringkerne und/oder Schalenkerne herstellen.

[0007] Um diesen Nachteil zu umgehen, wurde in der DE 198 45 781 A1 ein Spritzgussverfahren vorgestellt, bei dem nanokristalline Legierungen in einen spritzgießfähigen Kunststoff eingebettet und danach zu weichmagnetischen Kernen über ein Spritzgussverfahren verarbeitet wurden.

[0008] Es hat sich jedoch gezeigt, dass die anfangs vielversprechenden Ansätze im Spritzguss Grenzen aufweisen. Ein großer Nachteil ist, dass die Legierungspartikel des Legierungspulvers aus amorphen oder nanokristallinen Legierungen insbesondere beim Einspritzvorgang in die verwendeten Werkzeuge extremen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind. Dies führt in der Regel zu einer Beschädigung der Oberflächenisolation der Legierungspartikel. Die Beschädigung der Oberflächenisolation der Legierungspartikel führt wiederum zu erhöhten Ummagnetisierungsverlusten durch Volumenwirbelströme in den hergestellten weichmagnetischen Kernen.

[0009] Ein weiteres Problem bei den Spritzgussverfahren ist die Beständigkeit der Isolation der Wicklungen gegenüber dem weichmagnetischen Kern. Die bei der Herstellung in die mit Wicklungen bestückte Form eingespritzte Spritzgussmasse wirkt durch die darin eingebetteten Legierungspartikel extrem abrasiv, so dass es vermehrt zu Beschädigungen der Isolierungen der Wicklungen kommt. Insbesondere bei der Verwendung von Wicklungen aus lackisolierten Kupferdrähten oder lackisolierten Kupferlitzen kommt es vermehrt zu starken Beschädigungen.

[0010] Des weiteren hat es sich als Nachteil bei den Spritzgussverfahren gezeigt, dass diese sehr teure und aufwendig herzustellende Spritzgussformen benötigen.

[0011] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein induktives Bauelement mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff bereitzustellen, welches sehr einfach herzustellen ist, bei dem eine Beschädigung der Isolierungen der Wicklungen beim Herstellungsverfahren weitgehend vermieden wird und bei denen die Legierungspulver während der Verarbeitung keinen oder nur unkritischen mechanischen Belastungen ausgesetzt werden.

[0012] Des Weiteren soll das neue induktive Bauelement und das damit verbundene Herstellungsverfahren nicht auf die Vorteile des Spritzgussverfahrens verzichten. Insbesondere soll es möglich sein, induktive Bauelemente herzustellen, deren weichmagnetische Kerne in ihrer Formgebung nahezu frei sind und bei denen die Volumenausnutzung optimiert werden kann.

[0013] Erfindungsgemäß werden diese Aufgaben durch ein induktives Bauelement mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff gelöst, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass der Pulververbundwerkstoff aus einem Legierungspulver aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung und einem Gießharz besteht.

[0014] Typischerweise werden für die Legierungspulver nanokristalline Legierungen verwendet, wie sie beispielsweise eingehend in der EP 0 271 657 A2 oder in der EP 0 455 113 A2 beschrieben sind. Solche Legierungen werden mittels der dort beschriebenen Schmelzspinn-technologie typischerweise in Form von dünnen Legierungsbändern hergestellt, die anfänglich amorph sind, und dann zum Erzielen des nanokristallinen Gefüges einer Wärmebehandlung unterworfen werden. Es sind jedoch auch amorphe Kobalt-Basislegierungen verwendbar, wie sie beispielsweise in der US ??? und dem darin zitierten Stand der Technik eingehend beschrieben sind.

[0015] Die Legierungen werden zu Legierungspulvern mit einer durchschnittlichen Partikelgröße  $< 2$  mm vermahlen. Optimal sind Dicken von 0,01 bis 0,04 mm und Abmessungen in den beiden anderen Dimensionen von 0,04 bis 1,0 mm.

[0016] Zur elektrischen Isolation der Legierungspartikel untereinander werden die Legierungspartikel oberflächenoxidiert. Dies kann einerseits dadurch bewirkt werden, dass die gemahlene Legierungspartikel in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre oxidiert werden. Es kann jedoch auch die Oberflächenoxidation hergestellt werden über eine Oxidation des Legierungsbandes vor dem Vermahlen zu einem Legierungspulver.

[0017] Zur weiteren Verbesserung der Isolierung der Legierungspartikel untereinander können diese mit einem Kunststoff, beispielsweise einem Silan oder einer Metallalkyl-Verbindung beschichtet werden, wobei die Beschichtung bei Temperaturen zwischen 80°C und 200°C während einer Dauer von 0,1 bis 3 h vorgenommen wird. Durch diese Vorgehensweise wird die Beschichtung in die Legierungspartikel "eingebrannt".

[0018] Als Gießharze werden typischerweise Polyamide oder Polyacrylate verwendet, wobei die genaue Vorgehensweise weiter unten anhand der Diskussion des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens erörtert wird.

[0019] Die so hergestellten induktiven Bauelemente können Sättigungsmagnetisierungen  $B_s \geq 0,5$  und Permeabilitäten  $\mu$  zwischen 10 und 200 aufweisen.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff ist in einer ersten Ausführungsform durch die folgenden Schritte kenn-

zeichnet:

- a) Bereitstellen einer Form, eines Legierungspulvers und einer Gießharzformulierung;
- b) Befüllen der Form mit dem Legierungspulver;
- c) Einfüllen der Gießharzformulierung in die Form; und
- d) Aushärten der Gießharzformulierung.

[0021] In einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist das Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements mit zumindest einer Wicklung und einem weichmagnetischen Kern aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- a) Bereitstellen einer Form, eines Legierungspulvers und einer Gießharzformulierung;
- b) Vermischen des Legierungspulvers und der Gießharzformulierung zu einer Gießharzpulverformulierung;
- c) Einfüllen der Gießharzpulverformulierung in die Form; und
- d) Aushärten der Gießharzpulverformulierung.

[0022] Durch diese Vorgehensweise wird im Unterschied zum Spritzgussverfahren, das eingangs anhand der DE 198 49 781 A1 diskutiert wurde, vermieden, dass die Legierungspartikel einer mechanischen Belastung beim Herstellungsprozess ausgesetzt werden. Des weiteren wird auch insbesondere bei Verwendung einer mit einer vorgefertigten Wicklungen bestückten Form, die auf den Wicklungsdrähten aufgebraute Isolationsschicht nicht beschädigt, da das Einfüllen der möglichst niedrigviskosen Gießharzformulierung bzw. Gießharzpulver-Formulierung in die Form aufgrund des sanften Einleitens der Formulierungen diese nicht beschädigt. Besonders bevorzugt sind Gießharzformulierungen mit Viskositäten von einigen wenigen Millipascalsekunden.

[0023] In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung, insbesondere beim Erzielen von großen Füllhöhen in der Form, hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, dass das Legierungspulver bereits vor dem Einfüllen in die Form mit der Gießharzformulierung vermischt wird. Bei dieser Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann mit einem kleinen Überschuss an Gießharzformulierung gearbeitet werden, der die Fließfähigkeit der dann hergestellten Gießharzpulver-Formulierung begünstigt. Beim Einfüllen in die Form wird dann die Form durch eine geeignete Einrichtung, beispielsweise einem Pressluftvibrator in Schwingungen versetzt, was dazu führt, dass die Gießharzpulverformulierung gut durchmengt und "fludisiert" wird. Gleichzeitig wird die Gießharzpulverformulierung entgast.

[0024] Da das Legierungspulver im Vergleich zum Gießharz eine sehr hohe Dichte aufweist, setzt sich das Legierungspulver in der Form problemlos ab, so dass der verwendete Gießharzüberschuss beispielsweise in einem Anguss gesammelt werden kann, welcher nach dem Aushärten des Pulververbundwerkstoffs entfernt werden kann.

[0025] Durch die Verwendung von Formen, die mit vorgefertigten Wicklungen bereits bestückt sind, können in einem Arbeitsgang induktive Bauelemente hergestellt werden, ohne dass später das sehr arbeitsaufwendige "Bewickeln" oder Aufbringen von vorgefertigten Wicklungen auf Teilkern und anschließendes Zusammensetzen der Teilkern zu Gesamtkernen erforderlich wäre.

[0026] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Form, die mit dem Legierungspulver und der

Gießharz-Formulierung befüllt wird oder die bereits mit einer vorgefertigten Gießharzpulverformulierung befüllt wird, als Gehäuse des induktiven Bauelements "weiterverwendet". Das heißt, dass in dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Form als "verlorene Schalung" dient. Durch diese Vorgehensweise wird ein besonders effektives und kostengünstiges Verfahren bereitgestellt, das insbesondere auch im Gegensatz zu dem Spritzgussverfahren, das eingangs diskutiert wurde, erhebliche Vereinfachungen bringt. Bei dem eingangs erwähnten Spritzgussverfahren ist immer eine Form, die noch dazu sehr aufwendig und teuer herzustellen ist, notwendig, die niemals als "verlorene Schalung" dienen kann.

[0027] Bei den Spritzgussverfahren muss immer das hergestellte Bauelement bzw. der hergestellte weichmagnetische Kern aus Pulververbundwerkstoff aufwendig aus der Form entformt werden, was zu längeren Produktionszeiten führt.

[0028] Als Gießharzformulierungen werden typischerweise Polymerbausteine, die mit einem Polymerisationsinitiator (Starter) vermennt sind, verwendet. Insbesondere kommen als Polymerbausteine Methacrylsäuremethylester in Betracht. Es sind jedoch auch andere Polymerbausteine denkbar, beispielsweise Lactame. Die Methacrylsäuremethylester werden beim Aushärten dann zu Polyacryl polymerisiert. Analog werden die Lactame über eine Polyadditionsreaktion zu Polyamiden polymerisiert.

[0029] Als Polymerisationsinitiatoren kommen Dibenzoylperoxid in Betracht oder auch beispielsweise 2,2'-Azobisisobuttersäuredinitril.

[0030] Es sind jedoch auch andere Polymerisationsprozesse der bekannten Gießharze möglich, beispielsweise Polymerisationen, die über Licht- oder UV-Strahlung ausgelöst werden, das heißt also weitgehend ohne Polymerisationsinitiatoren auskommen.

[0031] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden die Legierungspartikel während und/oder nach dem Befüllen der Form mit dem Legierungspulver durch Anlegen eines Magnetfeldes ausgerichtet. Dies kann insbesondere bei der Verwendung von Formen, die bereits mit einer Wicklung bestückt sind, durch Durchleiten eines Stroms durch die Wicklung und dem damit einhergehenden Magnetfeld geschehen. Durch dieses Anlegen von Magnetfeldern, die zweckmäßigerweise Feldstärken von mehr als 10 A/cm aufweisen, werden die Legierungspartikel ausgerichtet.

[0032] Insbesondere ist es von Vorteil, die Legierungspartikel die formanisotrop sind, entlang der Magnetfeldlinien, die im später betriebenen induktiven Bauelement vorliegt, auszurichten. Durch die Ausrichtung der Legierungspartikel mit ihrer "langen" Achse parallel zu den Magnetfeldlinien kann eine starke Absenkung der Verluste und eine Erhöhung der Permeabilität des weichmagnetischen Kerns und damit der Induktivität des induktiven Bauelementes erzielt werden.

[0033] Im Fall der Verwendung einer Gießharzpulverformulierung ist es zum Erzielen höherer Permalitäten des weichmagnetischen Kerns von Vorteil bereits beim Einfüllen der Gießharzpulverformulierung mit der in der Form liegenden Spule ein Magnetfeld zu erzeugen, welches zu einer Orientierung der Legierungspartikel in Richtung des magnetischen Flusses wirkt. Nachdem die Form vollständig gefüllt ist, wird diese zunächst in Schwingungen versetzt, was wiederum beispielsweise durch den oben erwähnten Pressluftvibrator erfolgen kann und anschließend der Magnetisierungsstrom abgeschaltet. Nach der endgültigen Aushärtung der Gießharzformulierung wird dann das resultierende induktive Bauteil entformt.

[0034] Die Erfindung wird im folgenden Anhand von drei Ausführungsbeispielen und der beigelegten Zeichnung erläutert. Es zeigen:

[0035] Fig. 1 ein induktives Bauelement gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Querschnitt;

[0036] Fig. 2 ein induktives Bauelement gemäß einer zweiten Ausführungsform im Querschnitt; und

[0037] Fig. 3 ein induktives Bauelement gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung im Querschnitt.

[0038] Die Fig. 1 zeigt ein induktives Bauelement 10. Das induktive Bauelement 10 besteht aus einem weichmagnetischen Kern 11 und einer Wicklung 12, die aus relativ dickem Kupferdraht mit wenigen Windungen besteht. Fig. 1 zeigt das Bauelement 10 während der Herstellung. Das Bauelement 10 ist in eine Form 1a, die hier aus Aluminium besteht, eingebracht.

[0039] Die Fig. 2 zeigt ebenfalls ein induktives Bauelement 20, das aus einem weichmagnetischen Kern aus einem Pulververbundwerkstoff 21 besteht, in welchem ein Lagenwickel-Spulenkörper 22 eingebracht ist. Der Lagenwickel-Spulenkörper 22 ist an seinen Wicklungsenden mit Stiften 23 verbunden, die aus dem weichmagnetischen Kern 21 herausragen und zum Anschluss an eine Bodenplatte, beispielsweise eine Leiterplatte dienen. Das induktive Bauelement 20 in der Fig. 2 ist ebenfalls wie in der Fig. 1 während seiner Herstellung gezeigt. Das heißt, dass das induktive Bauelement 20 hier in der Form 1b gezeigt ist, in der Pulververbundwerkstoff vergossen wird.

[0040] Die Fig. 3 zeigt ebenfalls wie die Fig. 1 und 2 ein induktives Bauelement. Das hier gezeigte induktive Bauelement 30 besteht aus einem weichmagnetischen Kern 31, aus einem Pulververbundwerkstoff, in den wiederum ein Lagenwickel-Spulenkörper 32 eingebracht ist. Der Lagenwickel-Spulenkörper 32 ist an seinen Wicklungsenden mit Anschlussstiften 33 verbunden, die aus der Form 1c, die gleichzeitig als Gehäuse 34 dient, ragen.

[0041] Die folgenden Ausführungen sind, soweit es nicht ausdrücklich vermerkt wird, für alle drei Ausführungsbeispiele aus den Fig. 1 bis 3 identisch.

[0042] Ausgangsmaterial für den Pulververbundwerkstoff ist in allen drei Ausführungsbeispielen eine Legierung der Zusammensetzung  $Fe_{73,5}Cu_1Nb_3Si_{15,5}B_7$ , welche nach den bekannten Verfahren der Rascherstarrungstechnologie als dünne Metallbänder hergestellt wurden. Es wird noch einmal angemerkt, dass diese Herstellungsverfahren beispielsweise in der EP 0 241 657 A2 eingehend erläutert sind. Diese Legierungsbänder erfahren dann zur Einstellung des nanokristallinen Gefüges eine Wärmebehandlung unter Wasserstoff oder im Vakuum bei einer Temperatur von ungefähr 560°C. Im Anschluss an diese Kristallisationsbehandlung wurden die Legierungsbänder mit einer Mühle bis zur gewünschten Endfeinheit zerkleinert. Die für dieses Verfahren typischen resultierenden Legierungspartikelgrößen lagen etwa in der Dicke zwischen 0,01 und 0,04 mm und in den Abmessungen in den beiden anderen Dimensionen zwischen 0,04 und 1,0 mm.

[0043] Die so hergestellten Legierungspartikel, die manchmal auch Flakes genannten werden, wurden nun zur Verbesserung ihrer dynamischen magnetischen Eigenschaften mit einer Oberflächenbeschichtung versehen. Dazu erfolgte zunächst eine gezielte Oberflächenoxidation der Legierungspartikel durch eine Wärmebehandlung im Temperaturbereich zwischen 400 und 540°C für eine Zeitdauer zwischen 0,1 und 5 h. Im Anschluss an diese Behandlung war die Oberfläche der Legierungspartikel mit einer abriebfesten Schicht aus Eisen und Siliziumoxid mit einer typi-

schen Schichtdicke von etwa 150 bis 400 nm bedeckt.

[0044] Im Anschluss an diese Oberflächenoxidation erfolgte die Beschichtung der Legierungspartikel mit einem Silan in einem Wirbelbett-Coater. Danach wurde die Schicht bei Temperaturen zwischen 80°C und 200°C während einer Zeit von 0,1 bis 3 h eingebrannt.

[0045] Die so vorbereiteten Legierungspartikel wurden dann bei dem in den Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsformen in die Formen 1a bzw. 1b gefüllt. Die aus Aluminium bestehenden Formen 1a bzw. 1b wiesen an ihren Innenwänden eine geeignete Trennbeschichtung auf, so dass es nicht zu einer erschwerten Entformung der induktiven Bauelemente 10 bzw. 20 kommen konnte. Danach wurden durch die Wicklungen 12 bzw. 22 elektrische Ströme geleitet, so dass die Legierungspartikel sich mit ihrer "langen Achse" parallel zu dem dabei entstehenden Magnetfeld, das ungefähr 12 A/cm betrug, ausrichteten.

[0046] Danach wurden bei den in den Fig. 1 und 2 gezeigten Ausführungsbeispielen in die mit Legierungspulver befüllten Formen jeweils eine Gießharzformulierung eingegeben.

[0047] Bei der in der Fig. 1 gezeigten Ausführungsform wurde eine thermoplastische Methacrylatformulierung mit einem Silan-Haftvermittler eingegeben. Diese thermoplastische Methacrylatformulierung hatte folgende Zusammensetzung:

100 g Methacrylsäuremethylester  
2 g Methacryltrimethoxysilan  
6 g Dibenzoylperoxid und  
4,5 g N,N-Dimethyl-p-Toluidin

[0048] Bei der in der Fig. 2 gezeigten Ausführungsform wurde ebenfalls eine thermoplastische Methacrylatformulierung mit Silan-Haftvermittler eingegeben, wobei diese Methacrylatformulierung die folgende Zusammensetzung aufwies:

100 g Methacrylsäuremethylester  
2 g Methacryltrimethoxysilan  
10 g Diglycoldimethacrylat  
6 g Dibenzoylperoxid und  
4,5 g N,N-Dimethyl-p-Toluidin

[0049] In beiden Ausführungsformen wurden die vorstehenden chemischen Bestandteile nacheinander im Methacrylester gelöst. Die fertige Mischung war in beiden Fällen wasserklar und wurde dann in die Formen 1a und 1b gegossen. Die Gießharzformulierungen härteten in beiden Fällen bei Raumtemperatur innerhalb von ca. 60 min aus. Anschließend wurde eine Nachhärtung bei ca. 150°C für eine weitere Stunde vorgenommen.

[0050] Beim Befüllen der Formen 1a bzw. 1b mit dem Legierungspulver hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Formen 1a bzw. 1b während des Befüllens in Schwingungen zu versetzen, um damit das Legierungspulver zu verdichten. Mit diesem Vorgehen konnten in beiden Fällen problemlos Volumenanteile von bis zu 55 Vol% Legierungspulver in dem Pulververbundwerkstoff erzielt werden.

[0051] Bei dem in der Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel wurde eine wärmehärtende thermoplastische Methacrylatformulierung verwendet, die die folgende Zusammensetzung hatte:

100 g Methacrylsäuremethylester  
0,1 g 2,2'-Azo-Isobuttersäure-Dinitril

[0052] Diese Gießharzformulierung wurde in die Form 1c, wie in der Fig. 3 gezeigt wird, eingegeben und innerhalb von 15 Stunden bei einer Temperatur von ungefähr 50°C ausgehärtet. Da die Form 1c in der Fig. 3 als "verlorene Schalung" verwendet wird, das heißt anschließend nach dem Herstellungsvorgang als Gehäuse 34 für das induktive Bauelement diente, hat es sich hier besonders gut erwiesen,

eine warmhärtende Gießharzformulierung zu verwenden, da dadurch eine besonders intensiver und guter Kontakt zwischen der aus Kunststoff bestehenden Form 1c und dem Pulververbundwerkstoff gelungen ist.

[0053] Anschließend wurde auch diese die Gießharzformulierung bei einer Temperatur von ungefähr 150°C für ca. eine Stunde nachgehärtet.

[0054] Es wird angemerkt, dass die vorstehenden Gießharzformulierungen nur beispielhaften Charakter haben. Es sind eine große Fülle von anderen Gießharzformulierungen möglich, die auch chemisch anders vernetzt werden, als es in den oben aufgeführten Formulierungen der Fall war.

[0055] Der Vollständigkeit halber wird angemerkt, dass die oben genannten Formulierungen polymerisiert wurden und als Startersubstanzen Dibenzoylperoxid bzw. 2,2'-Azobuttersäure-Dinitril verwendet wurden. Es ist jedoch insbesondere auch möglich, ohne eine spezielle Startersubstanz auszukommen und Monomerbausteine, das heißt chemische Agentien wie hier den Methacrylsäuremethylester, mit UV-Licht zu polymerisieren.

[0056] Durch die Beimengungen von Methacrylmethoxysilan bzw. Diglycoldimethacrylat und anderen chemischen Substanzen kann die Zähigkeit bzw. die Schlagfestigkeit des entstehenden Pulververbundwerkstoffes eingestellt, insbesondere erhöht werden.

[0057] Bei der Verwendung von thermoplastischen Polyamiden können insbesondere Schmelzen aus  $\epsilon$ -Caprolactam und Phenylisocyanat verwendet werden, so hat sich in weiteren Versuchen eine Schmelze aus 100 g  $\epsilon$ -Caprolactam und 0,4 g Phenylisocyanat als geeignet erwiesen, welche bei 130°C miteinander vermischt wurde. Diese Schmelze wurde dann in eine auf 150°C vorgewärmte Form eingefüllt. Die Aushärtung des Caprolactams zu einem Polyamid erfolgte dann innerhalb von ungefähr 20 min. Eine Nachhärtung bei höheren Temperaturen war bei dieser Vorgehensweise in der Regel nicht erforderlich.

[0058] Statt des Caprolactams kann selbstverständlich auch ein anderes Lactam, beispielsweise Laurinlactam mit einer entsprechenden Binderphase verwendet werden. Bei der Verarbeitung von Laurinlactam sind jedoch Prozeßtemperaturen von über 170 °C erforderlich.

[0059] Mit den vorstehend beschriebenen Gießharzformulierungen wurden induktive Bauelemente mit weichmagnetischen Kernen aus ferromagnetischen Pulververbundwerkstoffen hergestellt, die sehr viel geringere Ummagnetisierungsverluste zeigten, als die analog über Spritzgussverfahren hergestellten induktiven Bauelemente. So wurden mit spritzgegossenen Bauelementen beispielsweise bei 100 kHz und 0,1 Tesla Aussteuerung Ummagnetisierungsverluste im Bereich zwischen 200 und 600 W/kg erreicht.

[0060] Mit den erfindungsgemäßen induktiven Bauelementen hingegen und den damit einhergehenden Herstellungsverfahren sind bei den selben Magnetisierungsbedingungen Verluste unter 100 W/kg zu erreichen gewesen, wobei die Füllgrade der spritzgegossenen induktiven Bauelemente und der induktiven Bauelemente, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt worden sind, nahezu gleich waren.

#### Bezugszeichenliste

1a, 1b, 1c Form  
10 induktives Bauelement  
11 weichmagnetischer Kern  
12 Wicklung  
20 induktives Bauelement  
21 weichmagnetischer Kern  
22 Lagenwickel-Spulenkörper

23 Anschlußstift  
30 induktives Bauelement  
31 weichmagnetischer Kern  
32 Lagenwickel-Spulenkörper  
33 Anschlußstift  
34 Gehäuse

#### Patentansprüche

1. Induktives Bauelement (10; 20; 30) mit zumindest einer Wicklung (12; 22; 32) und einem weichmagnetischen Kern (11; 21; 31) aus einem ferromagnetischen Pulververbundwerkstoff, **dadurch gekennzeichnet**, dass der ferromagnetische Pulververbundwerkstoff aus einem Legierungspulver aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung und einem Gießharz besteht.
2. Induktives Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Legierungspulver aus Legierungspartikeln mit einer durchschnittlichen Partikelgröße  $< 2$  mm besteht.
3. Induktives Bauelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die durchschnittlichen Partikeldicken zwischen 0,04 mm und 0,5 mm betragen.
4. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierungspartikel oberflächenoxidiert sind.
5. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierungspartikel mit einem Kunststoff beschichtet sind.
6. Induktives Bauelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Kunststoff ein Silan vorgesehen ist.
7. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Pulververbundwerkstoff eine Sättigungsmagnetisierung  $B_s \geq 0,5$  Tesla und eine Permeabilität  $10 \leq \mu \leq 200$  aufweist.
8. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Gießharz ein Polyamid oder ein Polyacrylat vorgesehen ist.
9. Induktives Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das induktive Bauelement (30) ein Gehäuse (34) aufweist.
10. Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) Bereitstellen einer Form (1a; 1b; 1c), eines Legierungspulvers und einer Gießharzformulierung;
  - b) Befüllen der Form (1a; 1b; 1c) mit dem Legierungspulver;
  - c) Einfüllen der Gießharzformulierung in die Form (1a; 1b; 1c); und
  - d) Aushärten der Gießharzformulierung.
11. Verfahren zum Herstellen eines induktiven Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) Bereitstellen einer Form (1a; 1b; 1c), eines Legierungspulvers und einer Gießharzformulierung;
  - b) Vermischen des Legierungspulvers und der Gießharzformulierung zu einer Gießharzpulverformulierung;
  - c) Einfüllen der Gießharzpulverformulierung in die Form (1a; 1b; 1c); und
  - d) Aushärten der Gießharzpulverformulierung.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine mit zumindest einer mit einer Isolationsschicht versehenen Wicklung (12; 22; 32) bestückte Form (1a; 1b; 1c) bereitgestellt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Form (1c) als Gehäuse (34) des induktiven Bauelementes (30) verwendet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, 5 dadurch gekennzeichnet, dass eine Gießharzformulierung bestehend aus Polymerbausteinen und einem Polymerisationsinitiator verwendet wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Polymerbaustein Methacrylsäuremethylester verwendet wird. 10
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass als Polymerisationsinitiator Dibenzoylperoxid verwendet wird.
17. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass als Polymerisationsinitiator 2,2'-Azobisisobuttersäure-Dinitril verwendet wird. 15
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Legierungspartikel während und/oder nach dem Befüllen der Form mit dem Legierungspulver durch Anlegen eines Magnetfeldes ausgerichtet werden. 20
19. Verfahren nach Anspruch 12 und einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetfeld durch Bestromen der Wicklung (12; 22; 32) angelegt wird. 25
20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass ein Magnetfeld mit einer Feldstärke  $> 10 \text{ A/cm}$  angelegt wird. 30

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

